

PENGENDALIAN MUKA AIR TANAH MENGGUNAKAN SISTEM KENDALI FAZI SEDERHANA

Groundwater Level Control with a Simple Fuzzy Control System ✕

Marzan A. Iskandar¹, Yanti Susanti², Satyanto K Saptomo³, Budi I. Setiawan⁴

Abstract

This paper proposes a method for controlling groundwater level in order to maintain a certain desired height by using a simple fuzzy control system. The control signal is determined by evaluating the state of water surface height deviation from the desired height on a 4 quadrant phase plane. The control signal is then used to determine the number of drainage or irrigation pumps, which must be operated. Simulation using actual data from the field shows that the proposed method is very effective to maintain the desired height of water surface. This method is very simple, therefore it can be easily implemented using a personal computer or a microcontroller, or up-loaded to a PLC (Programmable Logic Controller).

Keywords: *groundwater level, drainage, irrigation, fuzzy control*

PENDAHULUAN

Pengelolaan lahan basah untuk pertanian khususnya produksi pangan merupakan salah satu masalah yang semakin mendesak penyelesaiannya dalam sistem pertanian modern. Walaupun air di lahan tersedia dalam jumlah cukup melimpah, permasalahan belum terselesaikan karena adanya spesifikasi lingkungan lokal, baik tanah itu sendiri maupun kondisi iklimnya. Pengelolaan lahan

menghadapi beberapa kendala diantaranya dalam penentuan pola pengaturan air, pola pencegahan keasaman dan pola penanaman yang optimum dengan memperhatikan keberlanjutan produksi.

Pengendalian tata air biasanya dilakukan dengan membuat sistem irigasi dan drainase yang dilakukan secara gravitasi. Akan tetapi metode ini tidak memadai bila digunakan pada lahan yang berada pada wilayah yang relatif datar dan cenderung

^{1,2} Direktorat Teknologi Informasi dan Elektronika, BPP Teknologi Lt 21 Gedung BPPT II, Jl. M.H. Thamrin no.8 Jakarta 10340, e-mail : marzan@inn.bppt.go.id.

^{3,4} Center for Research on Engineering Application in Tropical Agriculture (CREATA-LP), IPB. PO BOX 220 Bogor 16002, e-mail : ergotron@ipb.wasantara.net.id.

selalu tergenang air. Lebih-lebih bila kondisi tersebut disertai dengan pola fluktuasi muka air tanah yang langsung dipengaruhi oleh curah hujan lokal atau pasang surut. Untuk menjamin permukaan air tanah pada ketinggian yang diinginkan pada kondisi semacam itu, maka diperlukan pompa irigasi dan pompa drainase yang dapat dioperasikan sesuai dengan keperluan. Penggunaan pompa secara manual masih kurang memadai karena pola kesetimbangan air yang sulit diperkirakan, di samping terbatasnya kemampuan dan keandalan operator di lapangan. Oleh sebab itu, implementasi sistem kendali perlu dilakukan dalam pengendalian muka air tanah.

Dalam makalah ini diusulkan suatu sistem pengendalian tinggi muka air tanah dengan menggunakan teknik kendali fazi (*fuzzy logic control*). Teknik pengendalian ini dipilih karena model sistem yang digunakan merupakan sistem non-linear yang dirumuskan dari data aktual di lapangan. Dengan sistem kendali fazi, model yang diperoleh dapat diperlakukan sebagaimana adanya tanpa memerlukan penyederhanaan.

Metode kendali fazi yang diusulkan dalam makalah ini sangat sederhana dan mudah diimplementasikan dalam perangkat komputer pribadi, mikrokontroler maupun *Programmable Logic Controller* (PLC). Simulasi pengendalian dengan menggunakan model non-linear yang didasarkan pada data aktual di lapangan menunjukkan bahwa sistem kendali fazi yang diusulkan sangat

efektif untuk mendapatkan dan menjaga tinggi permukaan air tanah pada level yang diinginkan.

MODEL SISTEM

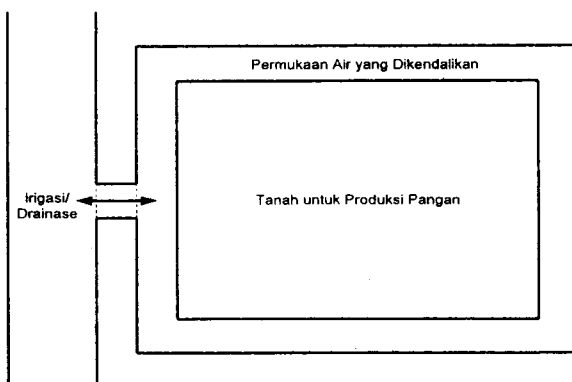
Model sistem yang digunakan dalam studi ini adalah satu petak lahan pasang surut yang diperlihatkan dalam Gambar 1. Karakteristik ketinggian permukaan air di saluran tersier pada lahan ini diperlihatkan pada Gambar 2 yang diperoleh dari data aktual di lapangan (Susanto and Muslimi, 1997). Karakteristik tinggi permukaan ini didekati dengan persamaan polinomial *piece-wise* pangkat tiga,

$$h_i(t) = a_i + b_it + c_it^2 + d_it^3 \quad (1)$$

Dengan, a , b , c dan d adalah konstanta *piece-wise* polinomial, h adalah ketinggian permukaan air tanah pada pengambilan data ke- i .

STRATEGI PENGENDALIAN

Untuk mengendalikan tinggi permukaan air tanah di lahan produksi pangan seperti diperlihatkan pada Gambar 1, digunakan pompa drainase dan pompa irigasi sebanyak masing-masing 4 unit. Kapasitas pompa ditentukan berdasarkan kapasitas pompa yang terdapat di pasaran dan disesuaikan dengan kebutuhan pengendalian. Pengoperasian pompa irigasi atau drainase sesuai dengan ketinggian permukaan aktual relatif terhadap ketinggian permukaan yang diinginkan. Selain itu jumlah pompa yang dioperasikan juga disesuaikan dengan kondisi besar kecilnya selisih ketinggian tersebut.



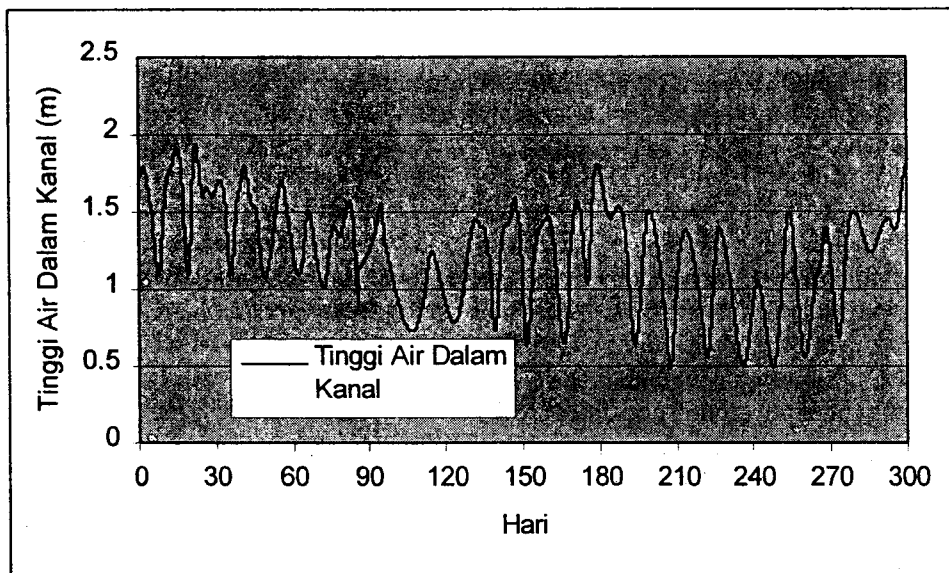
Gambar 1. Skema petakan lahan

PEMECAHAN DENGAN LOGIKA FAZI SEDERHANA

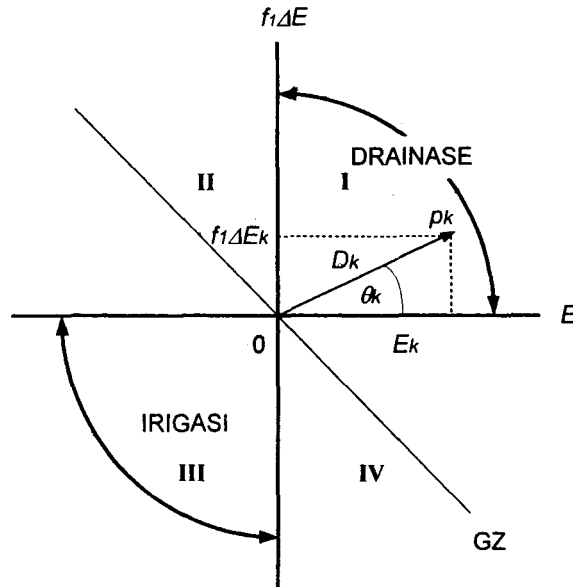
Sistem kendali fazi (*fuzzy logic control*) adalah suatu sistem pengendalian yang didasarkan pada sejumlah aturan kendali *Jika – Maka* (*if- then control rules*) yang disusun oleh seorang ahli atau seorang yang berpengalaman maupun didasarkan pada proses penyetelan. Bagian *Jika* merupakan pernyataan mengenai kondisi aktual sistem yang akan

dikendalikan, sementara bagian *Maka* merupakan tindakan yang harus diambil agar tujuan pengendalian tercapai.

Dalam makalah ini digunakan metode sistem kendali fazi sederhana yang prinsip pengendaliannya ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3, kondisi (*state*) volume air pada lahan yang akan dikendalikan direpresentasikan dengan deviasi E dan perubahan deviasi ΔE dari nilai aktual terhadap nilai yang diinginkan, yang



Gambar 2. Pola tinggi air harian suatu lahan pasang surut



Gambar 3. Diagram Bidang Fasa untuk Menetapkan Strategi Kendali Fazi

diamati pada setiap waktu *sampling* T . Untuk memudahkan pengamatan keadaan (*state*) volume air, nilai E dan ΔE diubah dalam koordinat polar D dan θ dari titik p (D, θ) dengan hubungan sebagai berikut:

$$D_k = \sqrt{E_k^2 + f_1^2 \Delta E_k^2} \quad (2)$$

$$\theta_k = \cos^{-1} \frac{E_k}{D_k} \quad (3)$$

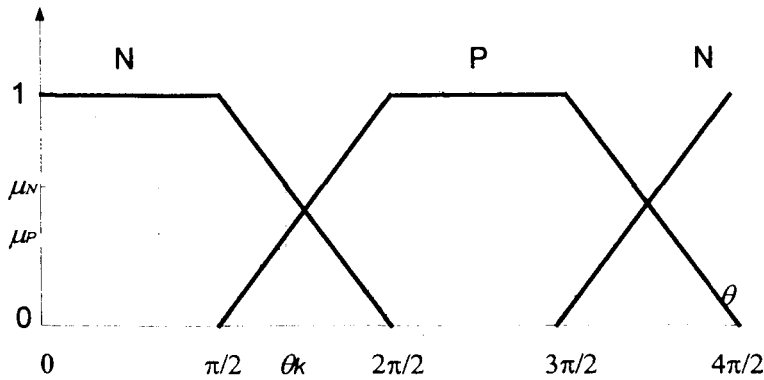
$$kT \leq t < (k+1)T \quad (4)$$

dengan, D adalah magnitudo, θ adalah sudut fasa, f_1 adalah parameter yang dapat disetel, t adalah waktu dan $k = 1, 2, 3, \dots$

Pengoperasian pompa drainase atau pompa irigasi tergantung pada posisi vektor D_k dalam bidang fasa dan magnitudonya. Bila D_k berada pada Kuadran I, ini berarti bahwa ketinggian muka air berada pada level yang lebih tinggi daripada ketinggian yang diinginkan. Di samping itu

jumlah air cenderung bertambah, karena air masuk ke lahan. Ini berarti pompa drainase harus dioperasikan untuk mengu-rangi volume air di lahan dan mengusahakan agar level ketinggian permukaan air dapat mencapai level yang diinginkan, yaitu titik 0 secepat mungkin. Sebaliknya, bila D_k berada pada Kuadran III, berarti bahwa ketinggian muka air berada pada level yang lebih rendah daripada ketinggian yang diinginkan. Di samping itu jumlah air cenderung berkurang, karena air mengalir keluar lahan. Ini berarti pompa irigasi harus dioperasikan untuk menambah volume air di lahan dan mengusahakan agar level ketinggian permukaan air dapat mencapai level yang diinginkan secepat mungkin.

Kuadran II dan Kuadran IV merupakan daerah dimana pompa irigasi atau drainase dapat beroperasi, sedangkan disepanjang garis zero GZ pompa drainase maupun irigasi sama

Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Sudut Fasa θ

sekali tidak beroperasi. Garis GZ merupakan garis perpindahan pengoperasian dari drainase ke irigasi atau sebaliknya. Berdasarkan logika aturan di atas, maka dapat dibuat suatu fungsi keanggotaan fazi dari sudut fasa θ seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Pada gambar 4, N dan P adalah label Fungsi Keanggotaan Sudut Fasa, yang menunjukkan kondisi operasi pompa drainase (N: Negatif) dan pompa irigasi (P: Positif). μ_N dan μ_P adalah *grade* yaitu derajat keanggotaan sudut fasa θ_k terhadap label N dan P dari fungsi keanggotaan tersebut.

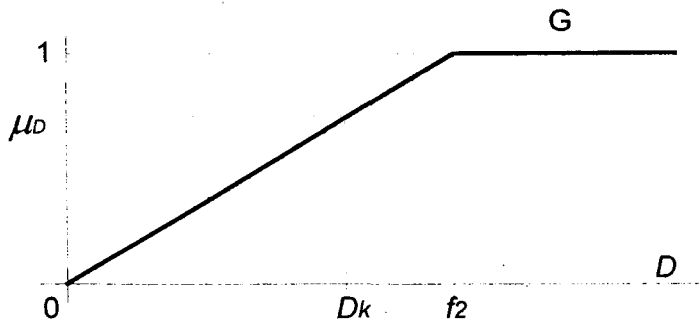
Berdasarkan pada fungsi

keanggotaan pada Gambar 4, maka sinyal kendali setara dengan inferensi sebagai berikut:

$$U_k \approx \frac{\mu_N - \mu_P}{\mu_N + \mu_P} \quad (5)$$

Selanjutnya terhadap magnitudo D_k , sinyal U_k akan membesar dengan membesarnya D_k serta mengecil dengan mengecilnya nilai tersebut. Berdasarkan logika ini dapat dibuat suatu fungsi keanggotaan seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Pada Gambar 5, G adalah label Fungsi Keanggotaan magnitudo D_k , yang menunjukkan banyaknya air yang harus dipompakan dari atau ke



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Magnitudo

lahan, μ_D adalah *grade* yaitu derajat keanggotaan magnitudo D_k terhadap fungsi keanggotaan tersebut.

Berdasarkan pada fungsi keanggotaan pada Gambar 5, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa sinyal kendali setara dengan derajat keanggotaan D_k atau,

$$U_k \approx \mu_D \quad (6)$$

Lebih lanjut, nilai maksimum sinyal kendali dibatasi pada suatu nilai U_m yang besarnya disesuaikan dengan nilai optimalnya dari hasil penyetelan serta kelayakannya secara teknis.

Dengan menggabungkan dari semua logika yang dijelaskan di atas, kita dapatkan suatu formula inferensi fazi untuk menentukan U_k sebagai berikut:

$$U_k = \frac{\mu_N - \mu_P}{\mu_N + \mu_P} \mu_D U_m \quad (7)$$

Dari hubungan,

$$\mu_P = 1 - \mu_N \quad (8)$$

maka didapat suatu bentuk persamaan yang sederhana berikut ini:

$$U_k = (1 - 2\mu_N) \mu_D U_m \quad (9)$$

Dalam makalah ini, nilai U_m adalah jumlah pompa yang digunakan. Dengan demikian dapat digunakan hubungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} -U_m &= U_k \Rightarrow P_D = U_m, \\ -U_m < U_k \leq -U_m + 1 &\Rightarrow P_D = U_m - 1, \\ U_m &> U_k \geq U_m - 1 \Rightarrow P_I = U_m - 1, \\ U_k &= U_m \Rightarrow P_I = U_m \end{aligned} \quad (10)$$

dengan, P_I adalah pompa irigasi dan P_D adalah pompa drainase yang harus dioperasikan.

Selanjutnya, dalam simulasi ini, nilai P_I atau P_D yang selanjutnya dituliskan P_{ID} dimasukkan ke dalam persamaan berikut ini:

$$V_i(t) = (a_i + b_i t + c_i t^2 + d_i t^3) A + P_{ID} Q_P \quad (11)$$

Dengan A adalah luas saluran air pada lahan dan Q_P adalah kapasitas pompa, $P_{ID} = P_D$ bila pompa yang dioperasikan adalah pompa drainase dan $P_{ID} = P_I$ bila pompa dioperasikan adalah pompa irigasi.

MENSET PARAMETER UNTUK OPTIMASI PENGENDALIAN

Untuk mengoptimalkan hasil pengendalian beberapa parameter fazi, yaitu f_1 dan f_2 yang telah dijelaskan sebelumnya harus diset pada nilai yang meminimumkan suatu indeks performansi tertentu. Dalam makalah ini indeks performansi I_P dipilih sebagai berikut.

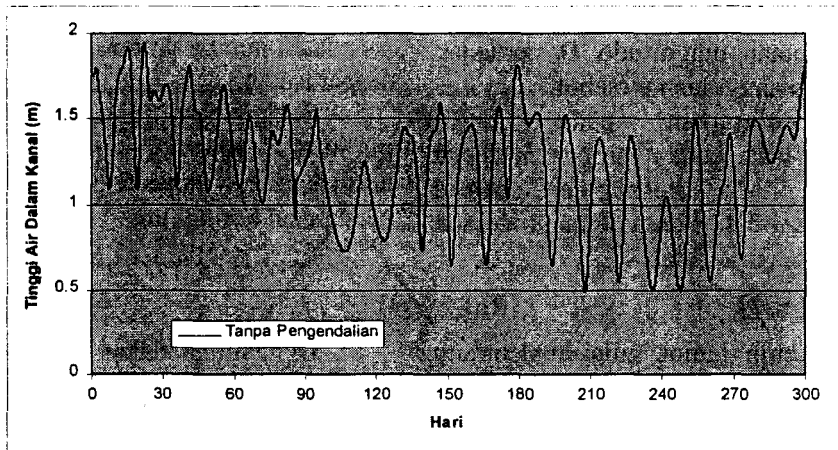
$$I_P = \sum_{k=1}^n E_k^2 \quad (12)$$

dengan, n adalah jumlah data.

Dengan menggunakan I_P ini, akan diperoleh parameter f_1 dan f_2 yang optimal bagi pengendalian. Sebagai tambahan, kapasitas dan jumlah pompa juga mempengaruhi nilai I_P .

SIMULASI KOMPUTER

Simulasi komputer dalam makalah ini menggunakan program kendali yang ditulis dalam bahasa pemrograman Pascal. Program ini secara sederhana dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu: generator



Gambar 6. Pola Tinggi Permukaan Air Kanal Tanpa Pengendalian (*Set Point* = 1.5 m)

untuk menghasilkan nilai tinggi muka air kanal, perhitungan untuk sistem kendali dan umpan balik ke dalam sistem.

Gambar 6 menunjukkan pola tinggi permukaan air kanal tanpa pengendalian. Sumbu tegak menunjukkan ketinggian muka air tanah, dimana ketinggian 2 m merupakan permukaan tanah. Pola ini akan dikendalikan untuk memperoleh ketinggian 1,5 m atau 0,5 m di bawah permukaan tanah. Pengendalian dengan metode yang diusulkan dalam makalah ini menghasilkan pola yang ditunjukkan pada gambar 7. Dari Gambar 7 terlihat bahwa *titik set point* 1,5 dapat didekati secara konsisten sepanjang pengamatan dengan deviasi maksimum sekitar 0,2 m. Deviasi ini disebabkan karena terbatasnya jumlah pompa yang digunakan yaitu 4 unit masing-masing untuk pompa drainase dan pompa irigasi dengan kapasitas 2,5 m³/jam. Jadi, penggunaan sistem kendali fazi sederhana yang diusulkan dapat mengendalikan tinggi permukaan air tanah dengan efektif.

Dalam program ini, terdapat beberapa nilai yang dapat diset untuk mendapatkan hasil pengendalian yang terbaik. Nilai-nilai yang dapat diset ini adalah: f_1 , f_2 serta U_m (Jumlah pompa) dan Q_p (Kapasitas Pompa).

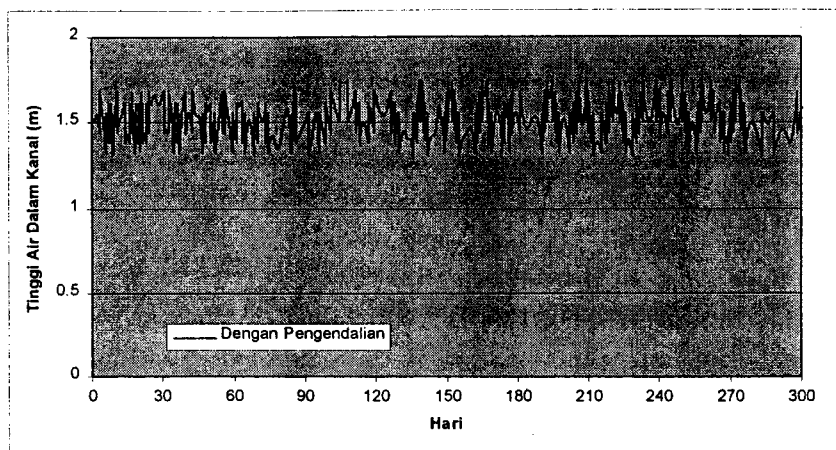
Tabel 1. Beberapa parameter fazi yang diset dan nilai indeks performansinya.

f_1	f_2	Indeks Performansi
1	1	1166,69
0.5	1	86,52
0.05	1	126,55
0.05	0.75	69,23
1	0.75	3345,43
1	0.5	3507,48

($Q_p = 2.5 \text{ m}^3/\text{jam}$, $U_m = 4$)

Indeks Performansi I_p pada kondisi tanpa pengendalian diperoleh sebesar 1331,73. Dengan mengubah nilai f_1 dan f_2 , nilai I_p dapat diminimumkan. Berdasarkan hasil eksperimen, Indeks Performansi sebesar 69,23 dicapai pada nilai $f_1 = 0.05$ dan $f_2 = 0.75$.

Untuk mengetahui pengaruh pengesetan kapasitas pompa terhadap



Gambar 7. Pola Tinggi Permukaan Air Kanal Sesudah Pengendalian

sistem kendali, beberapa eksperimen dengan kapasitas pompa yang berbeda-beda telah dilaksanakan. Untuk eksperimen-eksperimen ini, $f_1 = 0.05$ dan $f_2 = 0.75$.

Tabel 2. Hubungan Antara Kapasitas Pompa dengan Indeks Performansi.

Kapasitas Pompa (m^3/jam)	Indeks Performansi
2.5	69,23
3.0	205,33
1.5	186,53
1.0	439,07

KESIMPULAN

Makalah ini telah menyajikan suatu metode kendali fazi sederhana untuk mengendalikan permukaan air tanah pada lahan produksi pangan. Sinyal kendali ditentukan dengan suatu perhitungan yang disimpulkan dari kondisi titik deviasi tinggi permukaan air terhadap tinggi yang diinginkan. Simulasi komputer dengan menggunakan model yang dibuat berdasarkan data aktual di lapangan menunjukkan metode ini

bekerja dengan baik. Metode yang digunakan sangat sederhana, sehingga dapat dengan mudah diimplementasikan baik menggunakan komputer PC, mikrokontroler atau di *up-load* pada PLC.

Ucapan Terima Kasih

Riset ini merupakan bagian dari RUT VII 1999-2001 berjudul Pengembangan Sistem Tata Air Terkendali untuk Pertanian Lahan Gambut. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dewan Riset Nasional atas dukungan finansial dalam menyelenggarakan riset ini.

Daftar Pustaka

- Sugeno, "Fajii Seigyo", Nikkan Kogyo Shinbunsha, Tokyo, 1988 (Bhs. Jepang).
- Bear, J and A. Verruijt, "Modeling Groundwater Flow and Pollution", Dordrecht, Reidel Publishing Company, Holland, 1987.
- Setiawan, B.I., "Prediksi Air Tanah dan Konsentrasi Bahan Pencemar Dalam Akifer dengan Metoda Finite Element",

- Prosiding Seminar Pengelolaan dan Pemanfaatan Airtanah Berwawasan Lingkungan di Daerah Pesisir, BPPT, Jakarta 25-26 Oktober 1995.
- Iskandar, Syahputera, Trihatmo, Triputra, Prasetyo, "Application of Fuzzy Control System in Palm Oil Processing Plant", Seminar Quality in Research, UI, Jakarta, 1998.
- Saptomo, S. K., "Tata Air Lahan Basah dengan Sistem Kendali Fuzzy", Thesis Master, Program Pasca Sarjana IPB, Bogor, 1999.
- Susanto, R.H. and Muslimi. 1997. Water Resources Development and Possible Cropping Pattern On The Reclaimed Tidal Swamps In Indonesia. Proceedings 7th International Drainage Workshop. Vol(3). Nov. 17-21, Penang, Malaysia.